

Parametrisierte Auslegungstools für den metallischen Rumpf

Dieter Kohlgrüber
Institut für Bauweisen und Konstruktionsforschung, Stuttgart

Werkstoff-Kolloquium 2012, 04.12.2012, Köln



Wissen für Morgen



DLR- Zielsetzungen für Auslegung

Globale Zielsetzungen

- Bewertung und Entwicklung neuer Flugzeugkonzepte mit besseren Eigenschaften, geringeren Umweltbelastungen, ...
- Verknüpfung unterschiedlicher Disziplinen in frühen Entwicklungsphasen (Aerodynamik, Flugregelung, Struktur, ...)

Für Strukturforschung

- Abschätzung der Strukturmasse für die Flugleistungsberechnung
- Vergleichende Bewertung unterschiedlicher Bauweisen-Varianten
- Berechnung von realistischen Lasten für Auslegung von Komponenten und deren Test
- Bewertung des Crashverhaltens neuartiger Flugzeugkonzepte (Konfiguration, Bauweise, Werkstoff, ...)



A320, US Airways, New York , 15.01.09



B737-800 Crash, Amsterdam, 25.02.09

Quellen: Internet

DLR- Zielsetzungen für Auslegung

Globale Zielsetzungen

- Bewertung und Entwicklung neuer Flugzeugkonzepte mit besseren Eigenschaften, geringeren Umweltbelastungen, ...
- Verknüpfung unterschiedlicher Disziplinen in frühen Entwicklungsphasen (Aerodynamik, Flugregelung, Struktur, ...)

Für Strukturforschung

- Abschätzung der Strukturmasse für die Flugleistungsberechnung
- Vergleichende Bewertung unterschiedlicher Bauweisen-Varianten
- Berechnung von realistischen Lasten für Auslegung von Komponenten und deren Test
- Bewertung des Crashverhaltens neuartiger Flugzeugkonzepte (Konfiguration, Bauweise, Werkstoff, ...)



A320, US Airways, New York , 15.01.09



B737-800 Crash, Amsterdam, 25.02.09

Quellen: Internet



Übersicht

- Zielsetzungen für Auslegung
- Motivation für parametrisierte Auslegungstools
- DLR Prozesskette (spez. CPACS Datensatzformat)
- Rumpfauslegung zur Massenabschätzung
 - Modellerstellung in TRAFUMO (TRansport FUselage MOdel)
 - Exemplarische Analyseergebnisse
- Erweiterung zur Crashbetrachtung
 - Verfeinerte Modellierung in AC-CRASH (AirCraft-CRASH)
 - Exemplarische Analyseergebnisse
- Ausblick auf weitere Entwicklungen



A320, US Airways, New York , 15.01.09





B737-800 Crash, Amsterdam, 25.02.09

Quellen: Internet



Motivation für parametrische Auslegungstools

- Technischer Fortschritt ermöglicht und erfordert detaillierte Analysemethoden in frühen Phasen der Flugzeugentwicklung
- Hochentwickelte Berechnungsverfahren für stat. Auslegung und auch Crashbewertung stehen zur Verfügung
-  - Komplexe Analysen (Optimierungen) können mit moderner Hardware in überschaubarer Zeit durchgeführt werden
- Berechnungsverfahren erfordern eine detaillierte Modellierung der Realstrukturen (z.B. durch Finite Elemente Modelle)
-  - Modellerstellung und Anpassungen für Variationen erfordern großen Aufwand

Lösungsvorschlag:

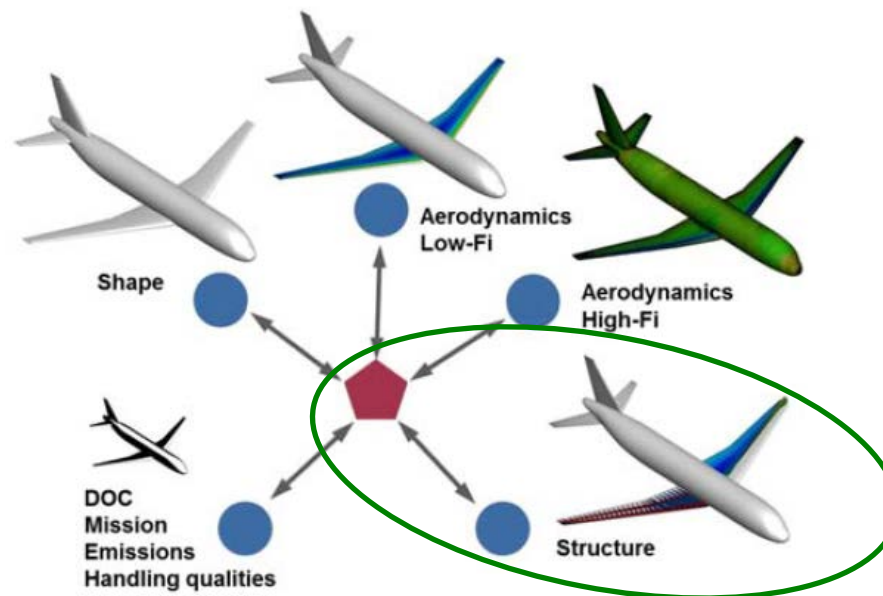
- ➔ Entwicklung parametrisierter Werkzeuge in einer Prozesskette (Modellerstellung, Analyse, Auswertung)
- ➔ Nutzung eines abgestimmten Parameterformats (z.B. CPACS)



DLR Prozesskette (CPACS Datensatzformat)

CPACS: **C**ommon **P**arameterized **A**ircraft **C**onfiguration **S**chema (seit 2005)

- DLR Format zur Beschreibung von Fluggeräten / Luftverkehr (von LY koordiniert)
- Hierarchisch organisierte XML-Datei (seit März 2012 als V2.0 veröffentlicht)
- Starkes Interesse außerhalb des DLR am Datenformat (Industrie, Forschung, Universitäten: national / international) → 2. CPACS workshop, 4.-6.12.2012 in HH



Disziplinen:

- Aerodynamik
- Struktur
- Aeroelastik
- Flugdynamik
- Kabinenlayout
- Kosten
- Lärm
- Crash
- ...

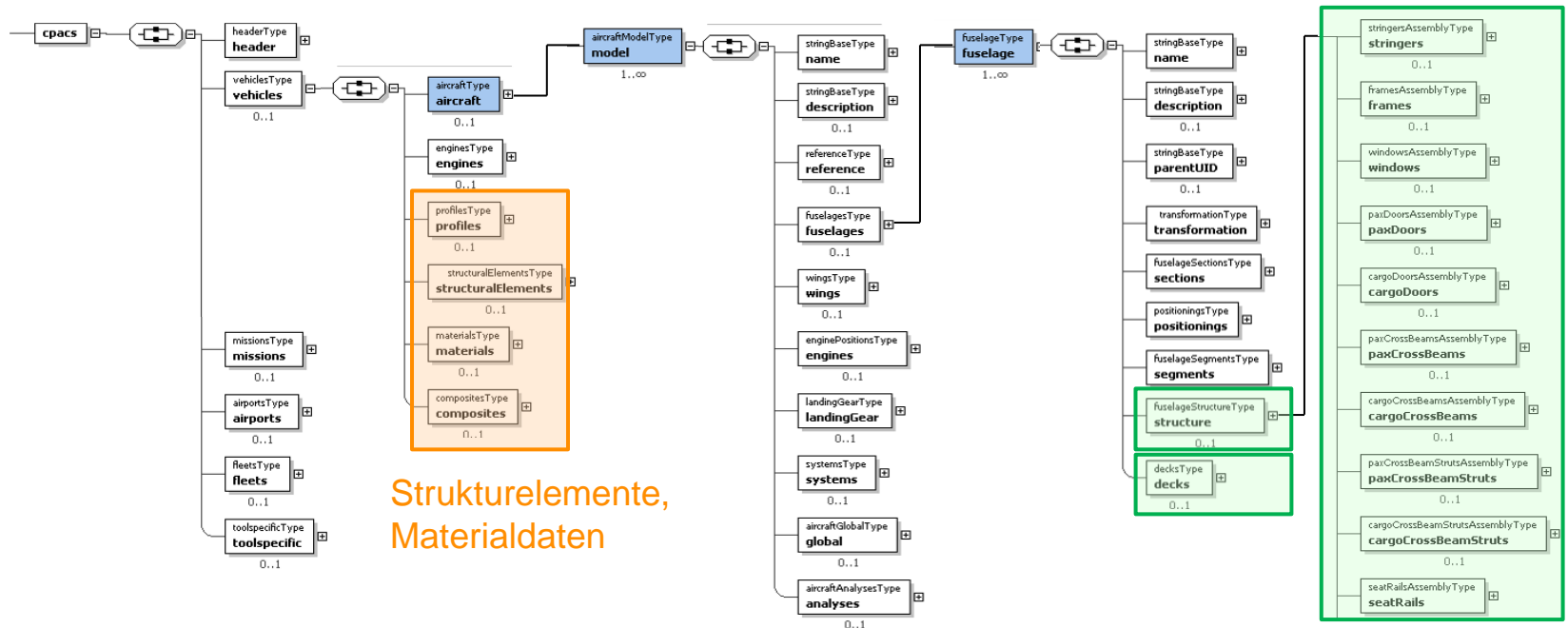
CPACS Datensatzformat



DLR Prozesskette (CPACS Datensatzformat)

CPACS: **C**ommon **P**arameterized **A**ircraft **C**onfiguration **S**chema (seit 2005)

- DLR Format zur Beschreibung von Fluggeräten / Luftverkehr (von LY koordiniert)
- Hierarchisch organisierte XML-Datei (seit März 2012 als V2.0 veröffentlicht)
- Starkes Interesse außerhalb des DLR am Datenformat (Industrie, Forschung, Universitäten: national / international → 2. CPACS workshop, 4.-6.12.2012 in HH)



Auszug aus CPACS Datenstruktur

Rumpfstruktur von BK definiert

DLR Prozesskette (CPACS Datensatzformat)

CPACS: **C**ommon **P**arameterized **A**ircraft **C**onfiguration **S**chema (seit 2005)

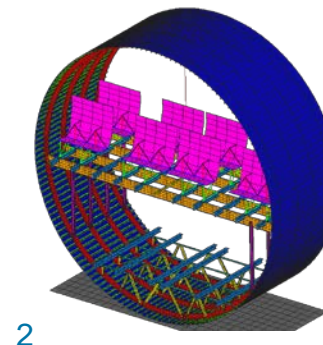
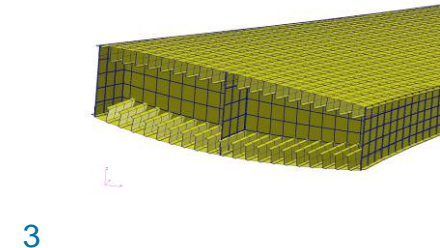
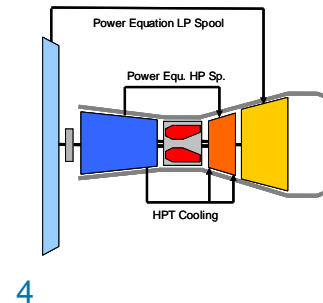
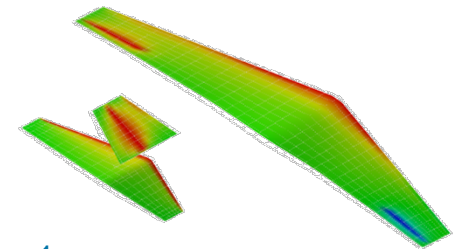
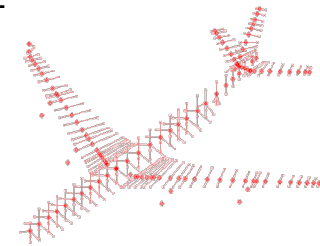
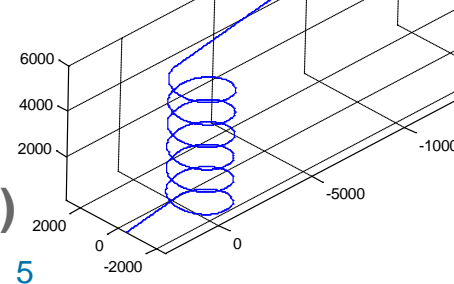
- DLR Format zur Beschreibung von Fluggeräten / Luftverkehr (von LY koordiniert)
- Hierarchisch organisierte XML-Datei (seit März 2012 als V2.0 veröffentlicht)
- Starkes Interesse außerhalb des DLR am Datenformat (Industrie, Forschung, Universitäten: national / international → 2. CPACS workshop, 4.-6.12.2012 in HH)
- Fokus der Arbeiten bei DLR-BK
 - Mitarbeit bei Beschreibung der Materialeigenschaften (primär isotrop, ...)
 - Mitarbeit bei Beschreibung der Strukturelementen (Profile, ...)
 - Definition der Beschreibung der Rumpfstruktur
 - Definition von Sonderlastfällen (z.B. Crash, ...)



DLR Prozesskette (Angeschlossene Werkzeuge)

Num. Werkzeuge mit CPACS Schnittstelle

Handbuchmethoden	VAMPzero	LY, AS, AE
Aerodynamik	LiftingLine 1 / POLINT	AS
	VSAERO	AS
Struktur	BoxBeam	FA
	PARA_MAM / S_BOT	FA, LY
	AC-CRASH 2 / TRAFUMO BK	
Aeroelastik	MODGEN 3 / NASTRAN	AE
Antrieb	TWDat 4	AT
Fahrwerk	LGConcept	AE
Missionssimulation	TCM	LY
	MS 5	RM
Start / Landung	MAPET	FT
Flugdynamik	FDS 6	RM
Flugeigenschaften	HAREM	FT
Kabinenvorentwurf	FuMe 7	LY
Boardingsimulation	TOMICS	FW
Kosten	LCC	LY
	DOC	LY
Lärmimmissionen	PANAM	AS
Triebwerkslärm	HEIDI	AT
Klimawirkung	AirClim	PA
ATM Simulation	TrafficSim	FL
Höhenstrahlung	RADIATION	ME
IR Signatur	SIGMA	MF
Radar Signatur	NIRATAM	HR

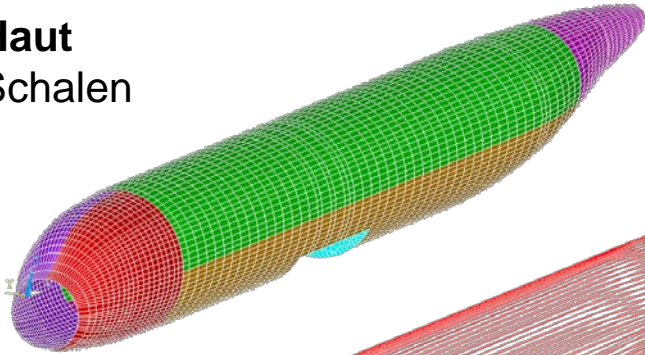


Status: 05/2011

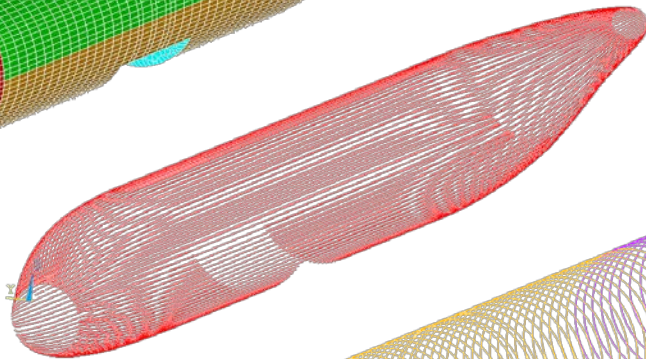


Modellerstellung in TRAFUMO

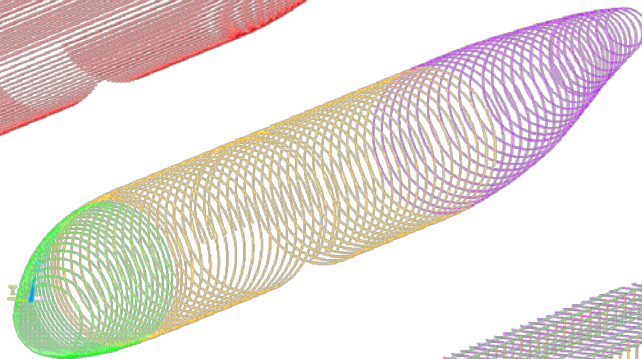
Haut
Schalen



Stringer
Balken
(Stäbe)

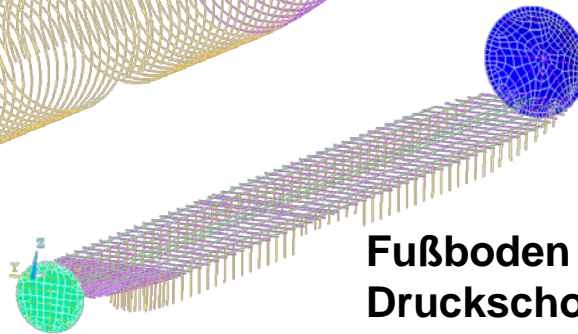


Spante
Balken



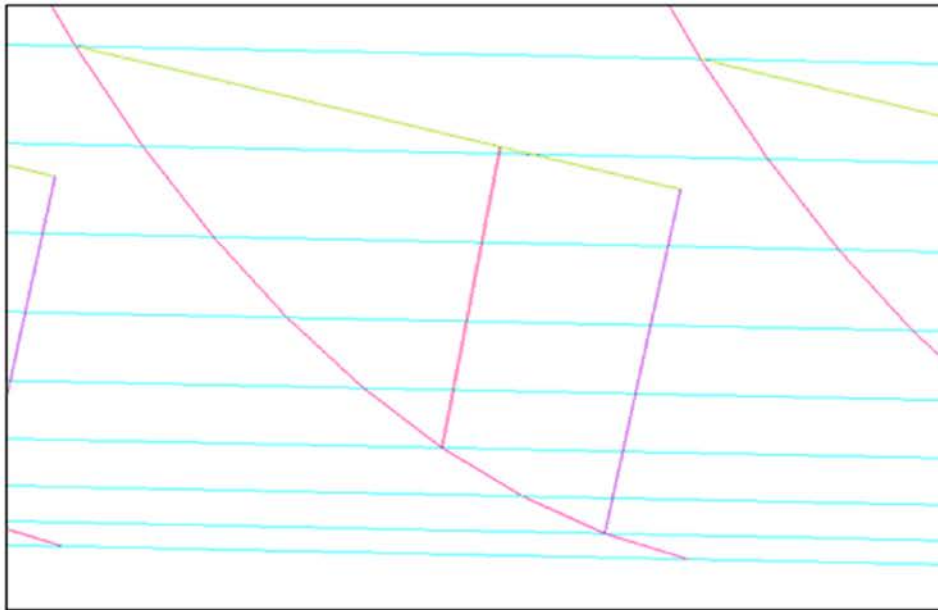
- Vollständig angepasst an DLR CPACS Datensatzformat
- Oberflächenpunkte werden auf CAD Fläche berechnet (DLR Bibliotheken) → hohe Formgüte
- Verwendet werden Schalen und Balkenelemente (Stäbe)

Fußboden (Balken)
Druckschotte (Schalen/ Balken)

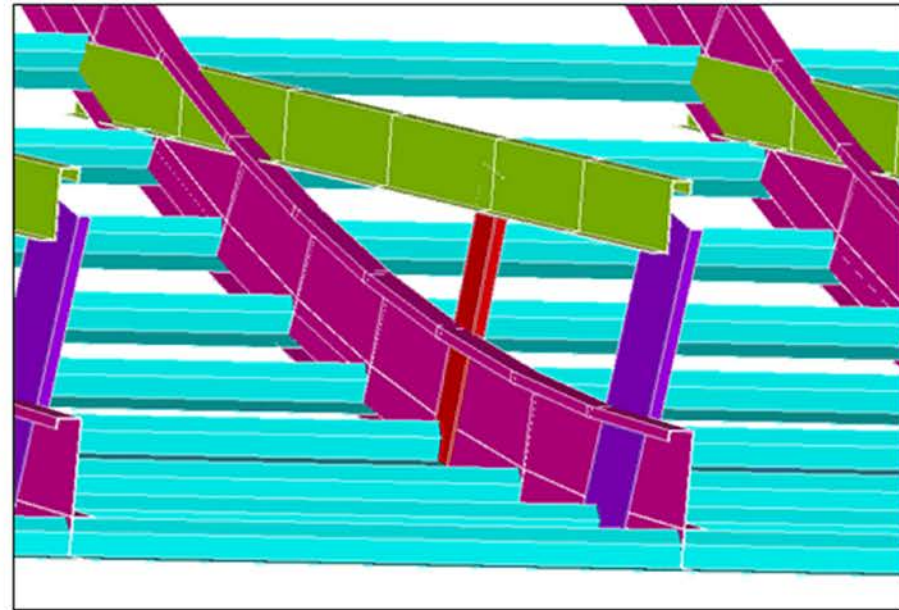


Modellerstellung in TRAFUMO

Darstellung der realen Elementquerschnitte, -eigenschaften
Beispiel: Frachtbodenstruktur



Diskretisierung mit
Balkenelementen

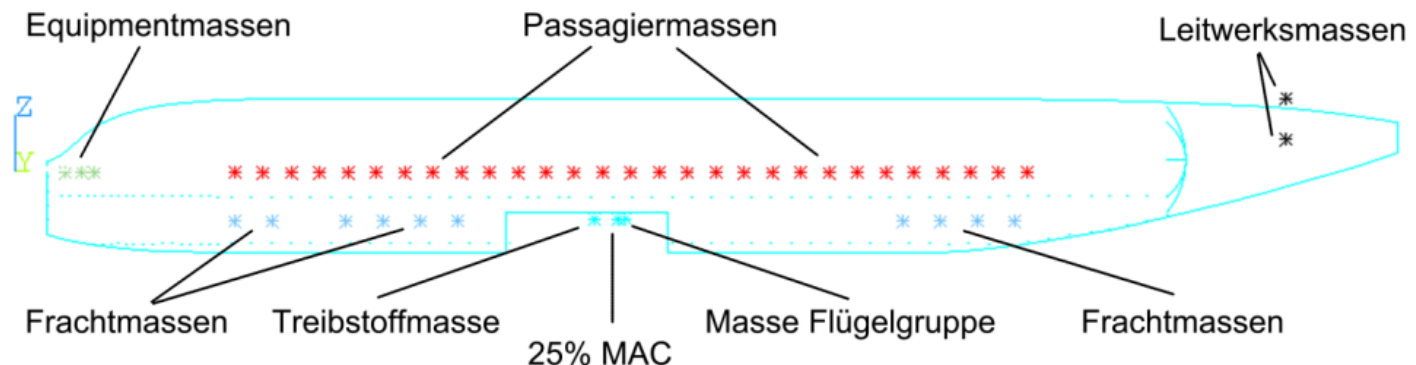
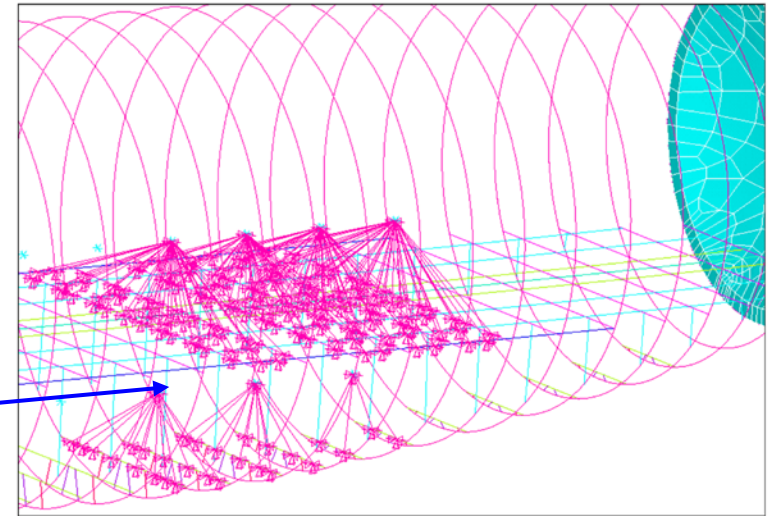


Balkenelement mit realem Querschnitt
(BEAM188 mit /ESHAPE-Option)

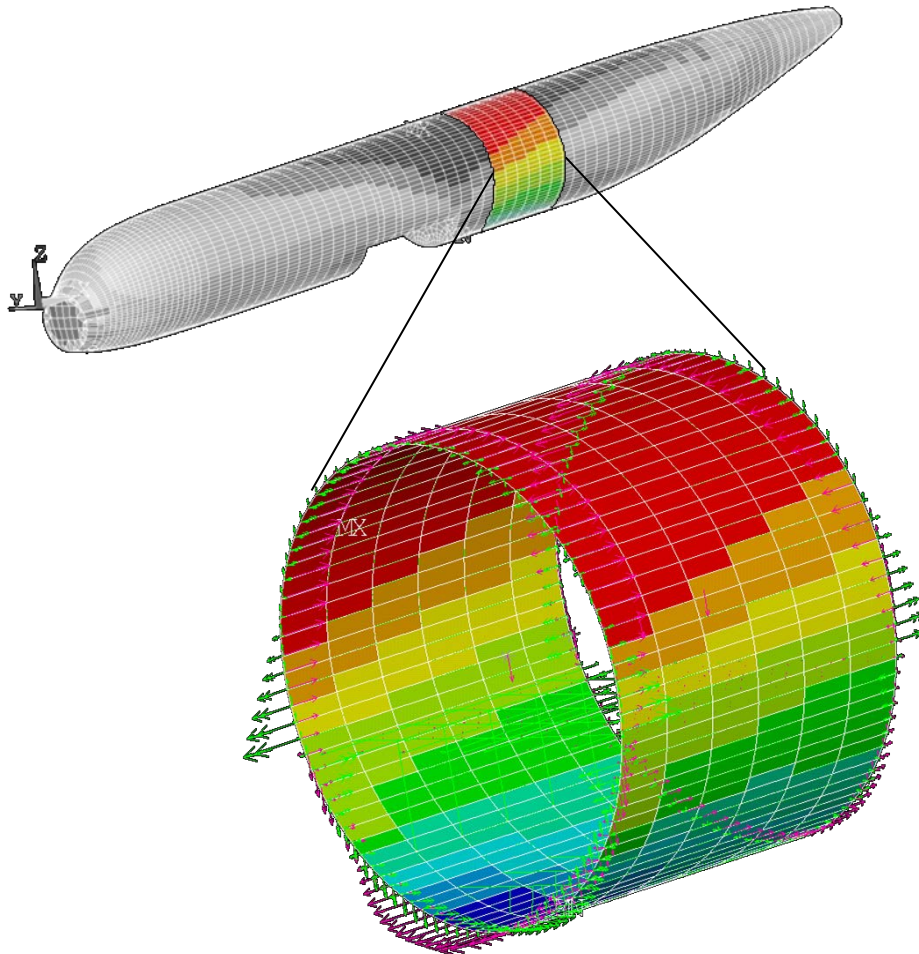


Modellerstellung in TRAFUMO

- Einbinden von Zusatzmassen
 - Systeme und Ausrüstung
 - Zuladung (PAX, Fracht)
 - Zusätzliche Punktmassen für Flügelgruppe, Treibstoff, Leitwerke
- Zusatzmassen werden über RBE3 Elemente auf Netzknoten verteilt



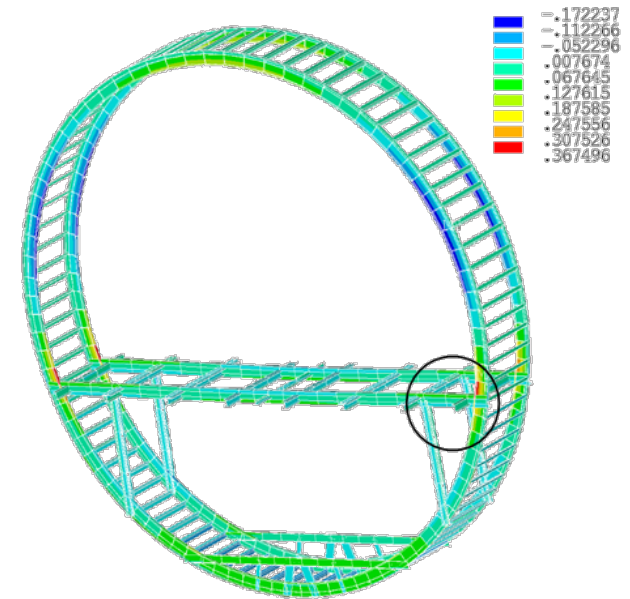
Exemplarische Ergebnisse von stat. Analysen



Spannungsverteilung (x - Komponenten)

Auswertung interner Lasten

- Kräfte und Spannungen in Schalen und Balkenelementen
- Beispielplots basieren auf +2,5g Abfanglastfall

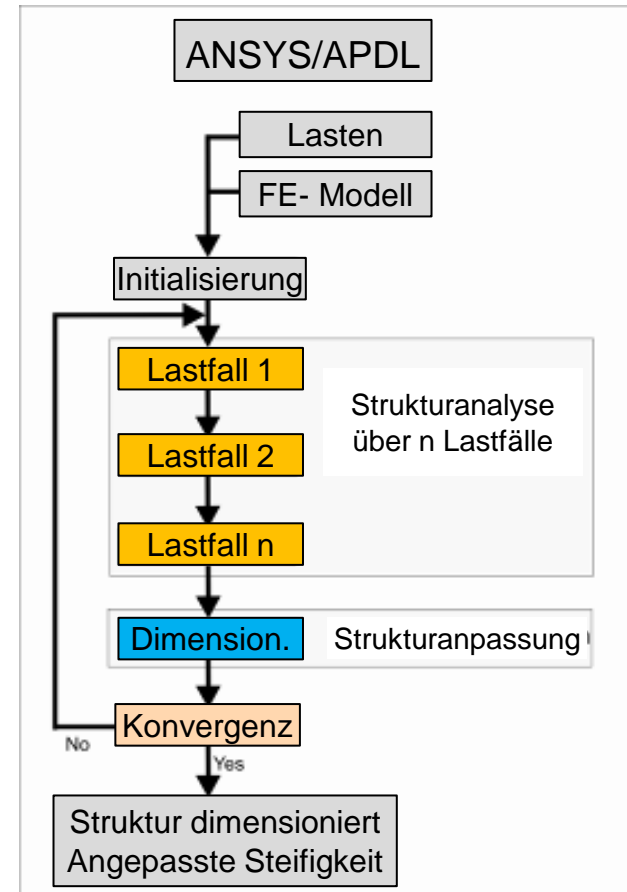


Spannungen in der Stützstruktur

Dimensionierung der Struktur mit S-BOT

Das Dimensionierungswerkzeug S-BOT

- **S-BOT (Sizing-RoBOT)** wurde ursprünglich bei DLR-FA für Tragflügelstrukturen entwickelt
- S-BOT nutzt die ANSYS Sprache APDL
- Grundsätzlich anwendbar für isotrope und orthotrope Werkstoffe
- Betrachtung unterschiedlicher Lastfälle
- Definition unterschiedlicher Versagenskriterien für die jeweiligen Lastfälle (Bruchgrenze, Fließgrenze, Ermüdungsgrenze, Stabilität, ...)
- Automatischer Update der Elementeigenschaften (z.B. Schalendicke, Balkensteifigkeit, ...) und Durchführung von Iterationsrechnungen
- Abbruch bei Konvergenz oder Erreichen der max. Iterationsanzahl



S-BOT Flussdiagramm

Quelle: nach B. Nagel



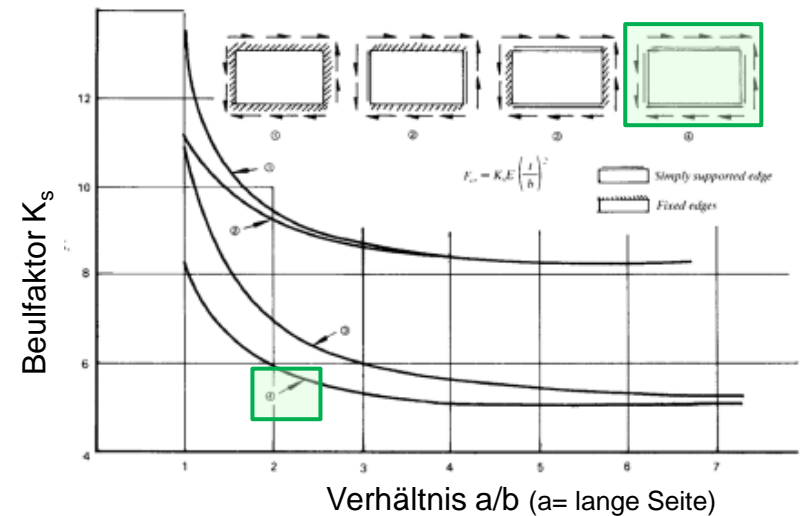
Dimensionierung der Struktur mit S-BOT

Weiterentwicklungen von S-BOT für Rumpfdimensionierung

- Erweiterung auf die Dimensionierung von Balkenelementen (für diskrete Versteifungen der Schale)
- Anbindung an CPACS Datensatzformat
- Einbinden eines Dimensionierungskriteriums für Hautbeulen (isotrope Haut)

Verwendete Dimensionierungskriterien

- Spannung (Festigkeit, Ermüdung) in Schalen und Balkenelementen
- Lokales Hautbeulen → nach digitalisierten Design Charts aus Niu 'Airframe stress analysis and sizing'
- Zusätzliche Restriktionen möglich, z.B. min. Hautdicke, max. Dicke, ...



Beulfaktor K_s nach Niu

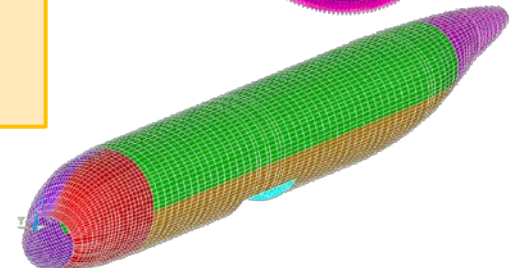
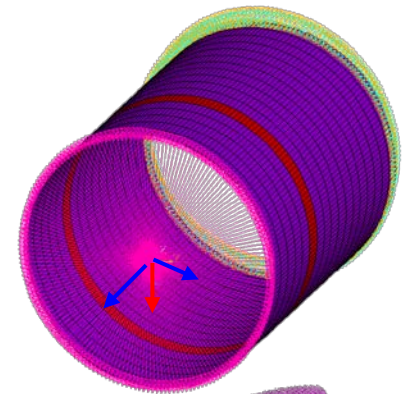
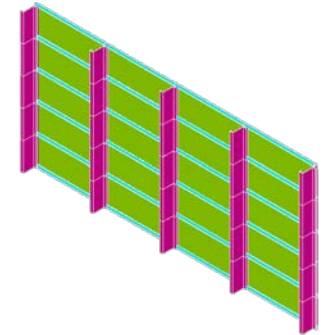


Dimensionierung der Struktur mit S-BOT

Test und Validierungsschritte

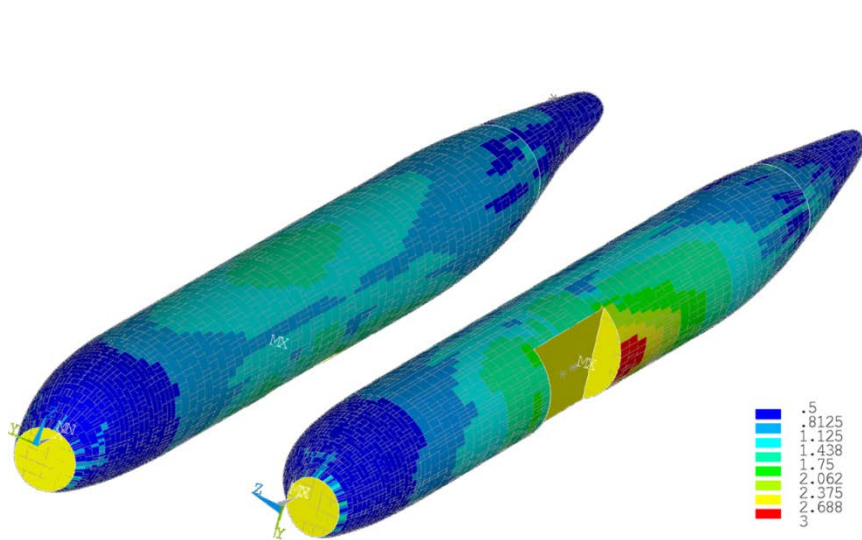
- Versteifte ebene Paneele
 - Basisuntersuchungen zur Dimensionierung von diskret versteiften Häuten (Kombination aus Schalen- und Balkenelementen)
 - Untersuchungen zur Konvergenz der Dimensionierung
- Zylindrische Rumpfsektion
 - Vergleich der S-BOT Dimensionierung mit FAME-F Ergebnissen (mit IFB / Uni Stuttgart)
- TRAFUMO Rumpfmodell (exemplarische Ergebnisse)
- TRAFUMO Rumpfmodell in generischer Kette mit DLR Vorentwurfstool VAMPzero (DLR-LY)

➔ Vollständige Info in Vortrag bei Bauweisen-Kolloquium, DLR-BK, 26.06.2012, <http://www.dlr.de/bk>

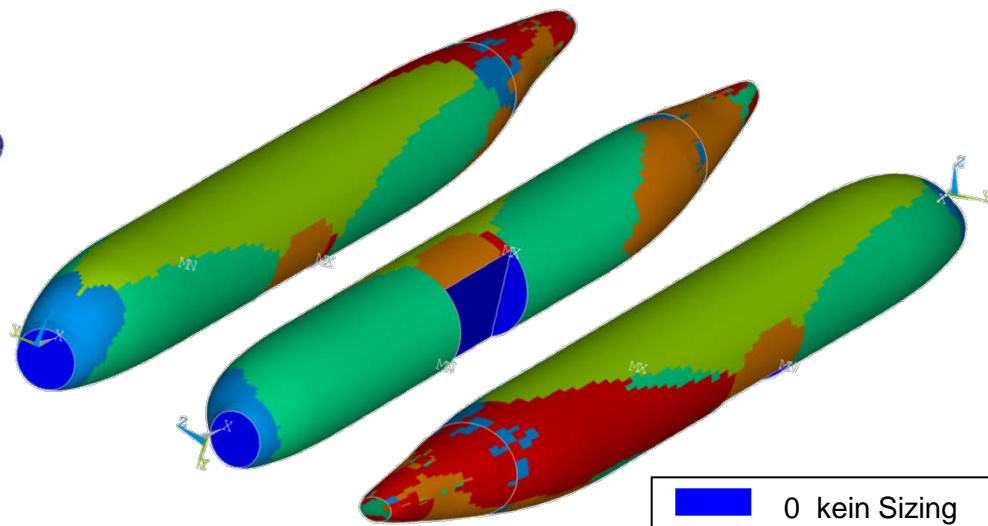


TRAFUMO Rumpfmodell (exemplarische Dimensionierung)

- Dimensionierung der Haut und Stringer auf Basis von 5 Lastfällen
- Balkenelemente in Nähe des starren Centre Fuselage sowie der Druckschotte wurden noch von der Dimensionierung ausgeschlossen
- Bislang keine Dimensionierung der Druckschotte, Spante und der Fußböden



Berechnete Hautdicken



Dimensionierende Lastfälle

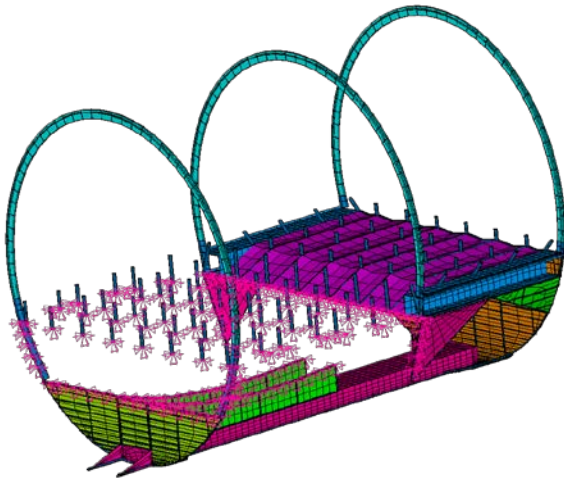
0	kein Sizing
1	Innendruck
2	+2.5 g
3	-1.0 g
4	Vertikalböe
5	Seitenböe



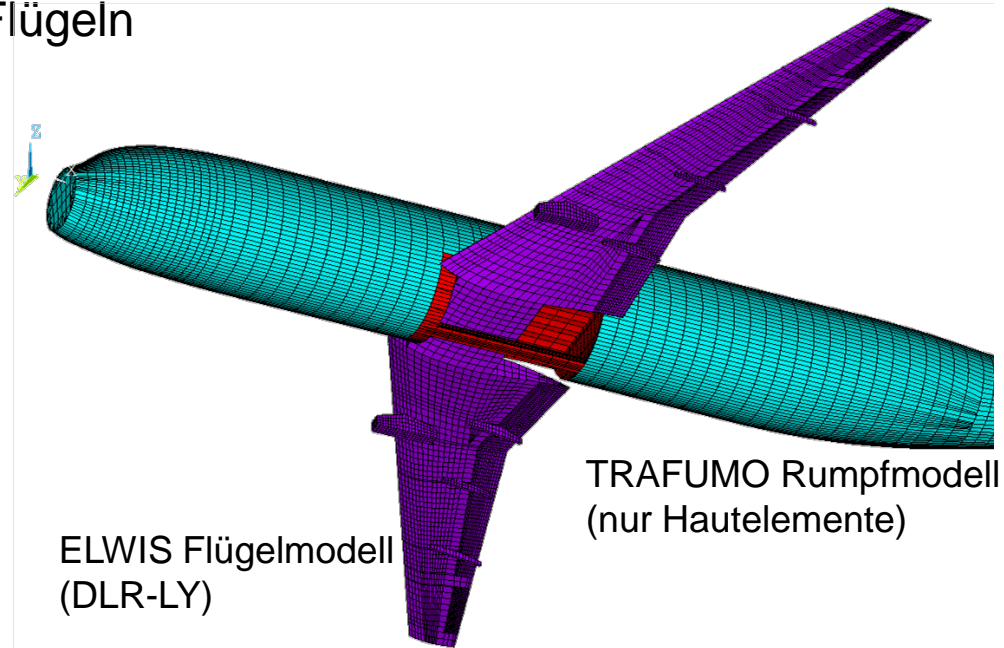
Derzeitige Weiterentwicklungen (TRAFUMO)

Modellierung

- Erweiterung des Rumpfmodells um generischen Flügel-Rumpf Übergang zur Kopplung mit parametrischen Flügeln



Zentraler Rumpfbereich



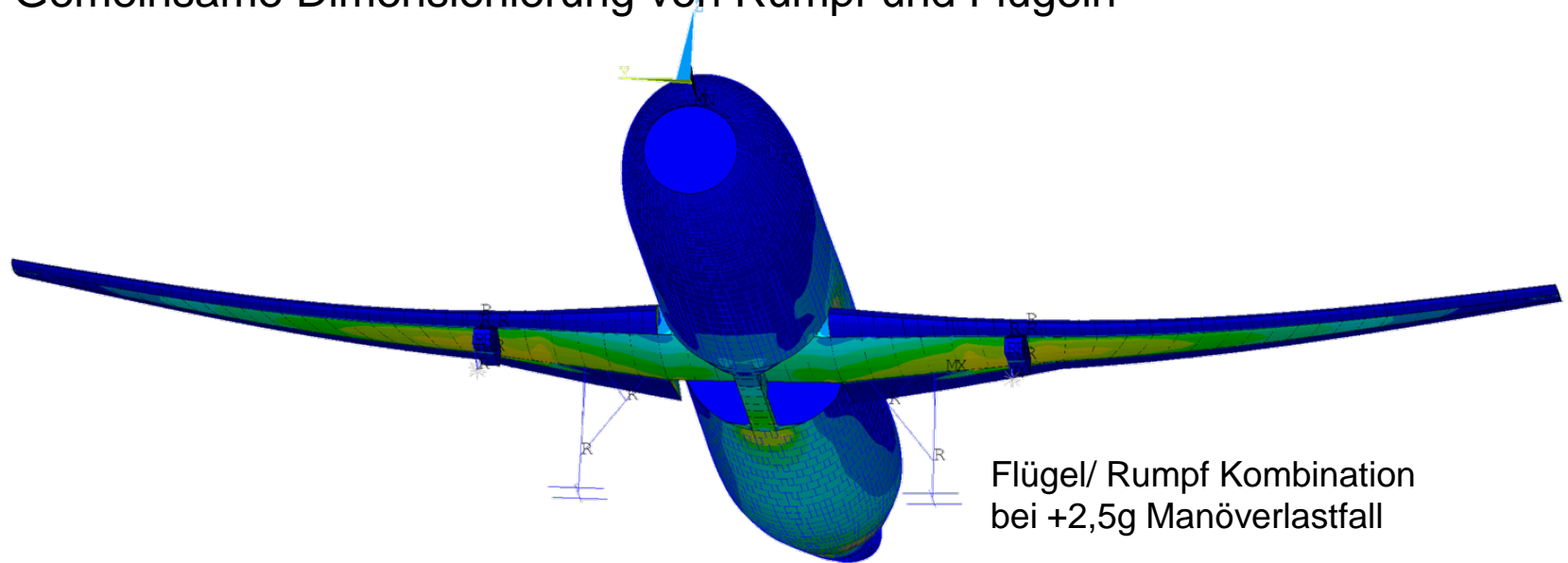
- Übergang zu alternativen Flugzeug-Konfigurationen (z.B. Wide Body, ...)



Derzeitige Weiterentwicklungen (TRAFUMO)

Einbindung in den DLR Vorentwurfsprozess

- Ankopplung an den DLR Lastenprozess
- Gemeinsame Dimensionierung von Rumpf und Flügeln



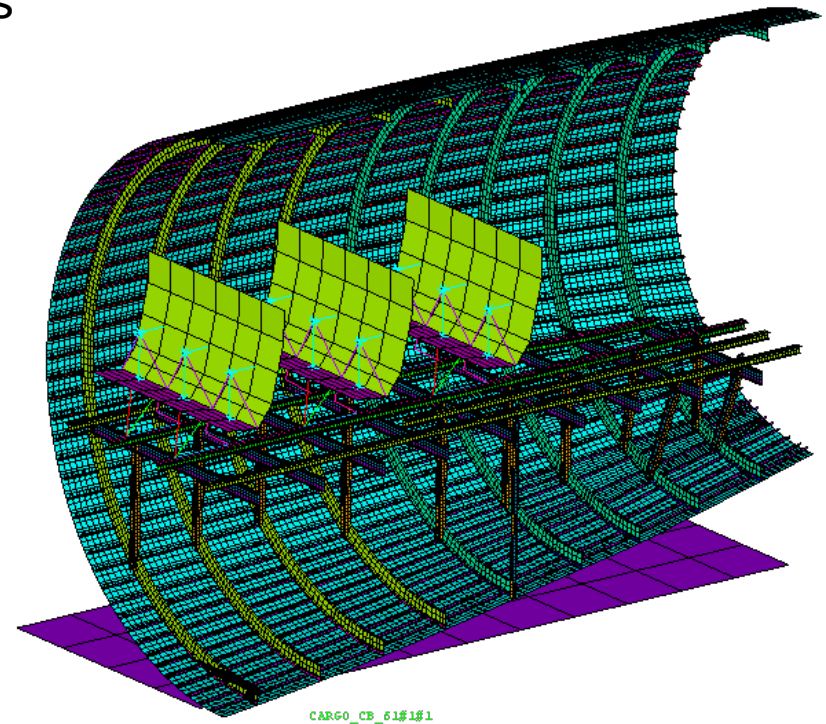
- ➔ Mittelfristig Strukturoptimierungen im geschlossenen Loop mit anderen Disziplinen (MDO / Multi Disziplinäre Optimierung)



Erweiterungen zur Crashbetrachtung (AC-CRASH)

Anforderungen für dyn. Crashrechnungen

- FE Modelle müssen deutlich feiner diskretisiert werden
 - Stringer / Spante im Allgemeinen als extrudierte Profile
 - Netzfeinheit ~5 – 30 mm (100 – 500 mm bei statischen Berechnungen)
- Sinnvoll wäre eine Kombination der Netzfeinheiten für spezifische Lastfälle
 - Ditching (Hecksektion fein)
 - Bugradversagen (Frontsektion detailliert)
- Netze übertragbar auf spez. Solver (PAM-CRASH, ABAQUS/ Explicit)



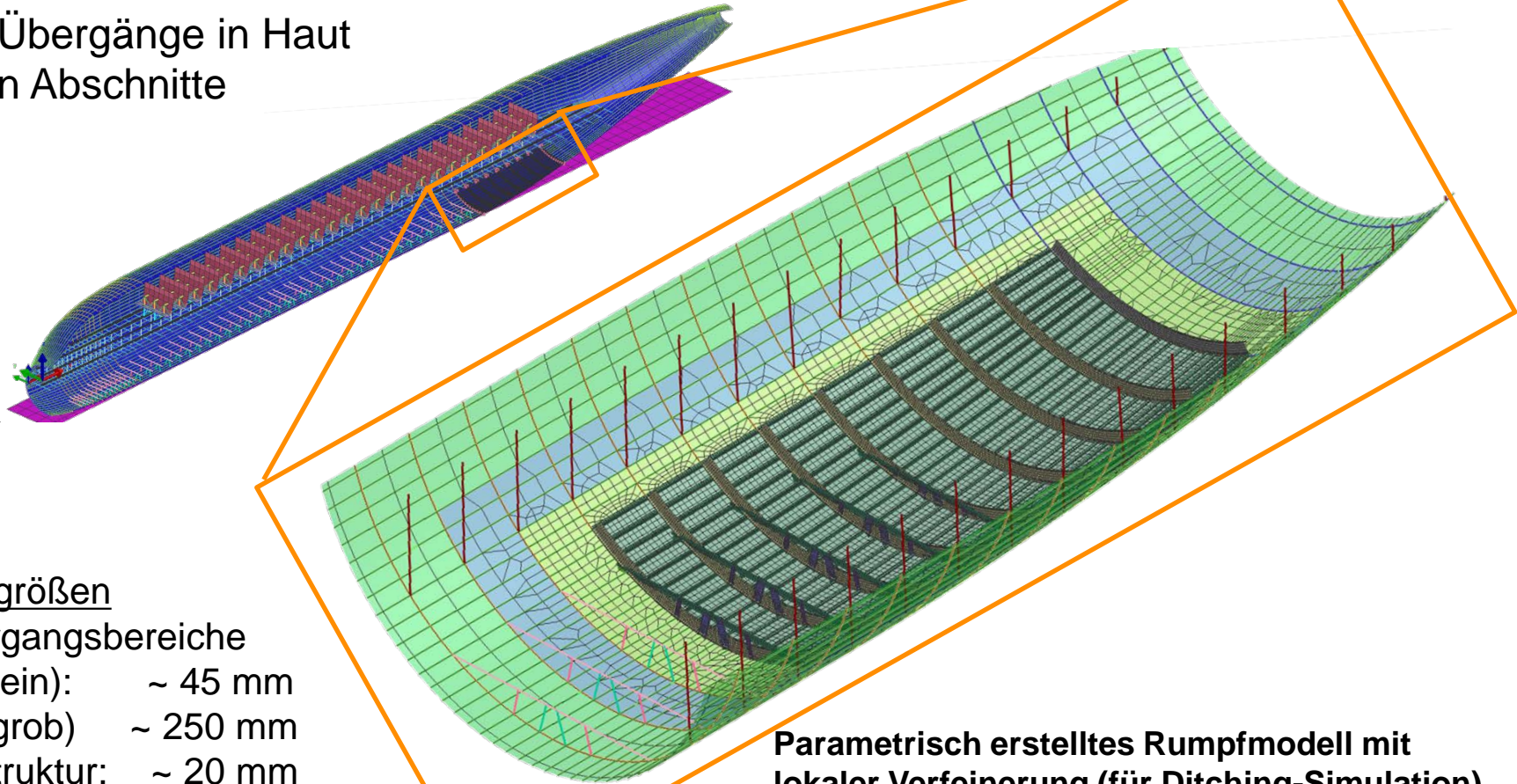
Halbmodell einer Hecksektion



Erweiterungen zur Crashbetrachtung (AC-CRASH)

Kombinierte Netzfeinheiten (1)

- Übergänge in Haut
n Abschnitte



**Parametrisch erstelltes Rumpfmodell mit
lokaler Verfeinerung (für Ditching-Simulation)**

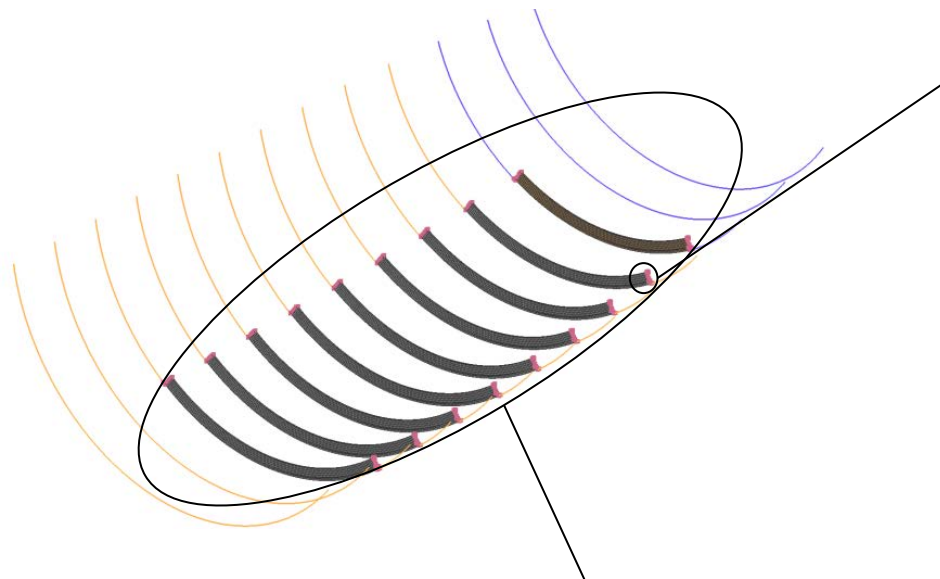
Elementgrößen

- 2 Übergangsbereiche
- Haut (fein): ~ 45 mm
- Haut (grob) ~ 250 mm
- Stützstruktur: ~ 20 mm

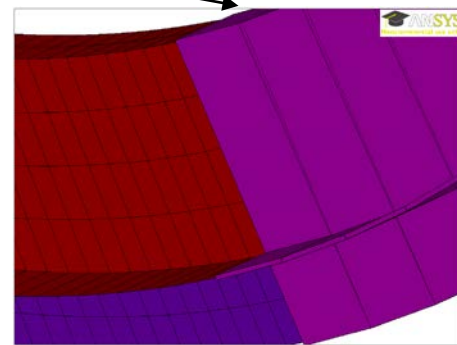
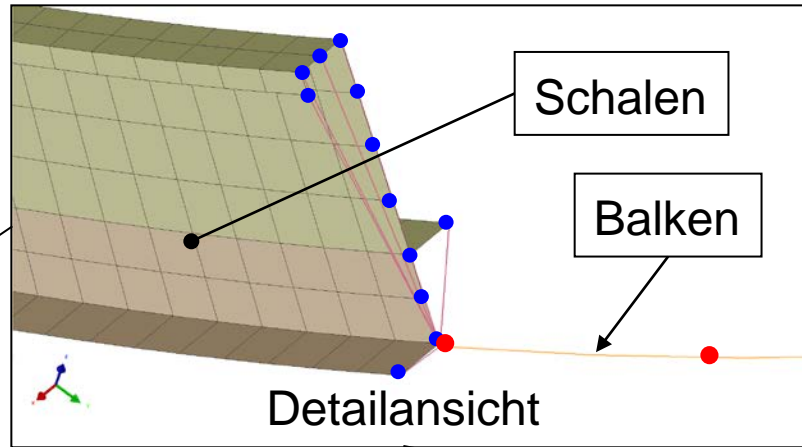
Erweiterungen zur Crashbetrachtung (AC-CRASH)

Kombinierte Netzfeinheiten (2)

- Automatische Kopplung der Balken und extrudierten Schalen



- Fein modellierter Impactbereich (nur Spante dargestellt)



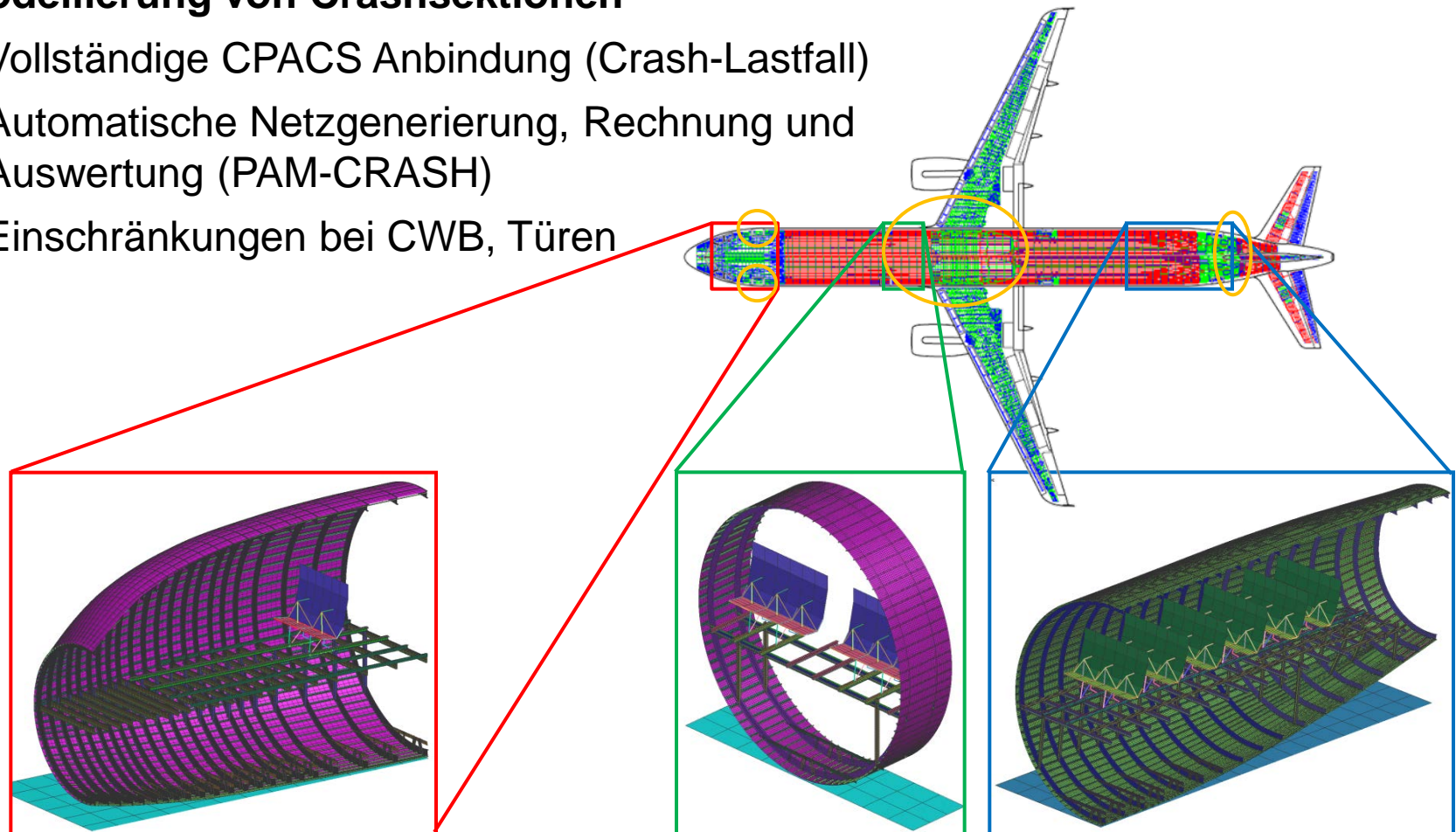
Darstellung Balken mit realen Abmessungen



Erweiterungen zur Crashbetrachtung (AC-CRASH)

Modellierung von Crashsektionen

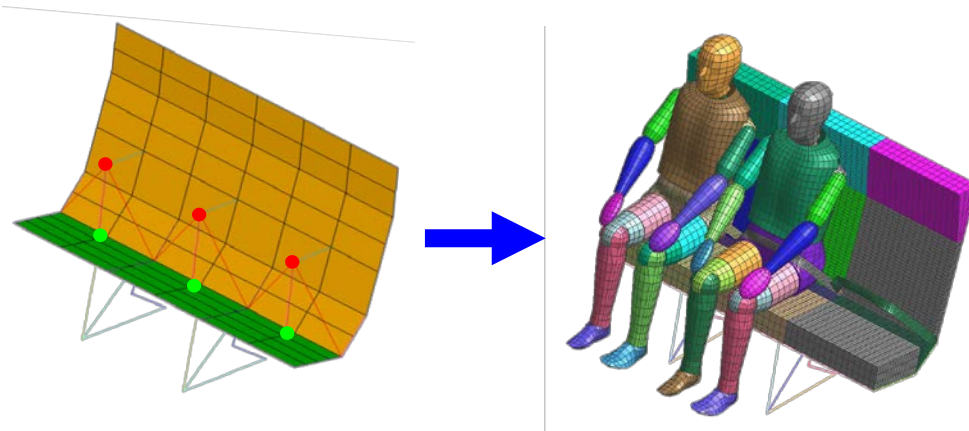
- Vollständige CPACS Anbindung (Crash-Lastfall)
- Automatische Netzgenerierung, Rechnung und Auswertung (PAM-CRASH)
- Einschränkungen bei CWB, Türen



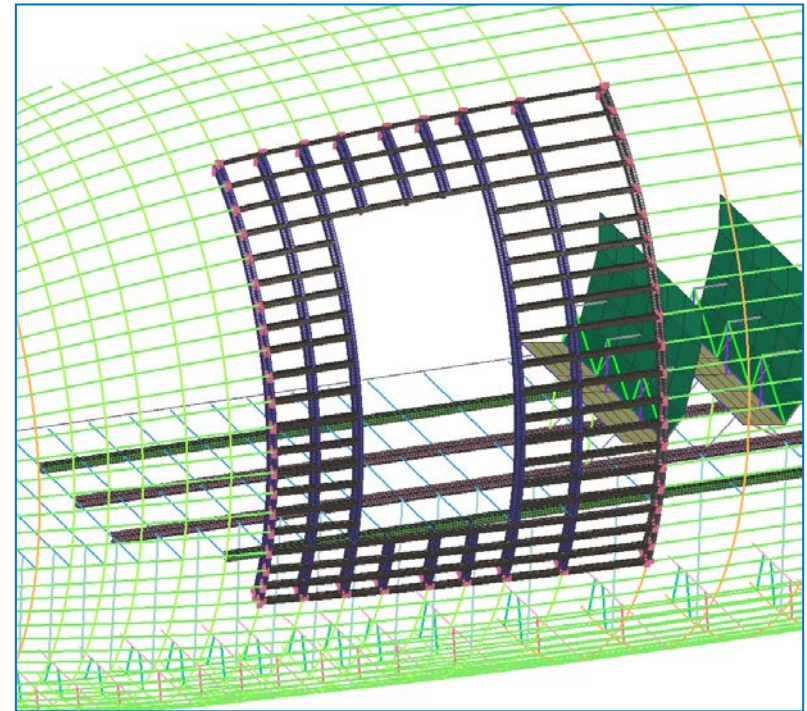
Geplante Weiterentwicklungen (AC-CRASH)

Modellierung

- Berücksichtigung weiterer Details
 - Türumgebungsstrukturen
 - später auch Flügelanschluss
 - ...
- Mittelfristig Einbindung von Dummies



Möglicher Einsatz verfeinerter Sitz-Dummy Modelle



Rumpfmodell mit fein modellierter Türumgebung
(noch ohne notwendige Verstärkungen)



Zusammenfassung und Ausblick

- Parametrisiertes Netzgenerierungstool für Transportflugzeugrumpfe wurde entwickelt und an das CPACS Datensatzformat des DLR angeschlossen
- Erste statische Analysen mit Ziel der Massenabschätzung wurden durchgeführt
- Erste Crashanalysen wurden in der Prozesskette durchgeführt

Nächste Herausforderungen:

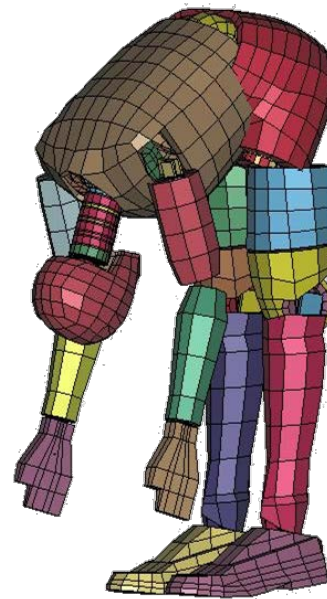
- Vollständige Einbindung in den Entwurfsprozess (z.B. Lastfälle, Aero, ...)
- Erweiterung der verwendeten Dimensionierungskriterien
- Validierung der Ergebnisse durch Vergleich mit Referenzlösungen
- Kopplung der Auslegung mit Crashbetrachtung in einem Loop
- Mittelfristig Durchführung von Crashsimulationen am Gesamtflugzeug
- Übergang zu alternativen Konfigurationen (z.B. abgestrebter Flügel, double deck aircraft, ...)



Maßgeblich beteiligte Kollegen

Klaus Harbig:	Modellgenerator, Prozesskette, Programmierung
Julian Scherer:	Strukturmechanik, Dimensionierung, Validierung
Dominik Schwinn:	Erweiterung zur Crashmodellierung

Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit!



Source: CadFEM GmbH

